A DINÂMICA DO DESMATAMENTO NO MUNICÍPIO DE CRUZEIRO DO SUL, ACRE, NO PERÍODO DE 1985 A 2003

Letícia Palazzi PEREZ [1]
Tatiana Mora KUPLICH [2]
Homero FONSECA FILHO [3]
Dalton de Morisson VALERIANO [4]
Rita de Cassya Almeida SOUSA [5]

RESUMO

O Estado do Acre está localizado no sudoeste da Amazônia e, como o restante dos Estados da Amazônia Legal Brasileira, também sofre com a exploração descontrolada de seus recursos naturais. As origens do desmatamento no Acre estão associadas à exploração da borracha que promoveu a ocupação territorial por populações não-indígenas a partir da segunda metade do século XIX. As fases de expansão e retração do ciclo da borracha levaram, respectivamente, a migração aos seringais e posterior êxodo para as cidades.

A ocupação territorial no Acre ocorreu de maneira mais intensa a partir das décadas de 1960 e 1970, quando políticas governamentais de integração incentivaram a imigração e aceleraram a conversão da floresta em outros usos, principalmente pastagens. Ainda, de 1976 a 1982 os Projetos de Assentamento, que promoveram a colonização de lotes destinados à pequena propriedade agrícola, foram implantados, assentando em torno de 10 mil famílias, sem, no entanto, nenhuma preocupação social ou ambiental.

Com o intuito de dar suporte à fiscalização do desmatamento na Amazônia, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolve desde 1988 o Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia (PRODES). Através do PRODES são gerados mapas anuais do desmatamento na Amazônia Legal, após a classificação e interpretação de imagens do sensor a bordo dos satélites Landsat. Inicialmente os mapas eram elaborados através da interpretação visual das imagens, mas, desde 1997, a metodologia utiliza técnicas de processamento digital das imagens. A fase de interpretação visual das classificações realizadas, entretanto, ainda é importante. O restante da metodologia do PRODES digital consiste, sucintamente, nas seguintes etapas: (i) georeferenciamento das imagens; (ii) geração de imagens-fração solo e sombra, através do processamento denominado Modelo Linear de Mistura Espectral; (iii) segmentação e classificação automática das imagens-fração solo e sombra, considerando polígonos de, no mínimo, 16 pixels e com similaridade de 8 níveis de cinza; (iv) interpretação visual e edição das classificações, eliminando polígonos classificados erroneamente e adicionando polígonos não-classificados; (v) geração dos dados temáticos, utilizando os programas em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) e, por fim, (vi) mosaico das classificações, gerando os mapas temáticos da área de interesse.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica do desmatamento no município de Cruzeiro do Sul, situado a noroeste do Estado, nas coordenadas centrais aproximadas de 8º 00'' S e 72º 40'' W, entre os anos de 1985 e 2003. Especificamente, foram analisadas, no software SPRING, cenas Landsat/TM e ETM+, dos anos de 1985, 1988, 1991, 1994,

[1] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, bolsista, Escola Politécnica da USP/LABGEO, aluna de pós graduação leticia@dsr.inpe.br
[2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, tmk@dsr.inpe.br
[3] Escola Politécnica da USP /LABGEO, hfonseca@usp.br
[4] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, dalton@dsr.inpe.br
[5] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, rcassya@dsr.inpe.br

1997, 2000 e 2003, órbitas/ponto 5/65, 5/66 e 6/66, utilizando a metodologia do PRODES Digital. A análise dos dados gerados refere-se ao processo de desmatamento em Cruzeiro do Sul, na tentativa de entender a dinâmica da ocupação da floresta no município.

INTRODUÇÃO

As políticas de ocupação da Amazônia ocidental (Acre e sudoeste do Amazonas) causaram grandes mudanças sociais e ambientais na paisagem desta região. Nos anos 60, os grandes projetos agropecuários e de integração governamentais levaram pequenos agricultores e, mais tarde, latifundiários para esta região. Projetos de colonização dirigida nos anos 70 também promoveram a ocupação do estado do Acre, mudando o perfil de um estado cuja economia era baseada principalmente na extração de borracha. A decadência da borracha, causada principalmente pelo aparecimento da borracha sintética, acabou ocasionando a venda de extensos seringais para grupos que passaram a explorar a pecuária.

A população que vivia dos seringais migrou em direção aos centros urbanos, principalmente para a região de Rio Branco. Outros centros urbanos também originados em regiões de seringais, entretanto, foram menos procurados pelos migrantes. O Vale do Juruá, por exemplo, onde Cruzeiro do Sul está localizada, conseguiu manter sua população em atividades seringueiras por mais tempo, dado seu isolamento geográfico.

Cruzeiro do Sul apresenta uma dinâmica de crescimento urbano e populacional diferente das demais cidades do Acre. A baixa concentração populacional de Cruzeiro do Sul se dá pelo difícil acesso à região, por falta de vias de transporte. A principal via de acesso que liga Cruzeiro do Sul a Rio Branco, a Rodovia BR-364, funciona precariamente e somente nos meses secos, já que ainda não é asfaltada. Em relação à região, há vias de acesso, asfaltadas, para os municípios vizinhos – a leste com Tarauacá, ao sul com Porto Walter e a oeste com Mâncio Lima, mas a ligação dos núcleos urbanos com o interior é praticamente inexistente. Ainda ao norte, Cruzeiro do Sul faz divisa com o estado do Amazonas, por onde são feitas as principais ligações comerciais, via balsa ou avião.

Este trabalho apresenta a metodologia utilizada para o mapeamento do desmatamento no município de cruzeiro do sul no período compreendido entre 1985 e 2003. Foi utilizada a metodologia PRODES, que, através do processamento de imagens Landsat TM e ETM+, gera mapas temáticos, com basicamente quatro classes: floresta, desmatamento, hidrografia e nuvem, se ouve ocorrência na data da obtenção da imagem processada.

O objetivo deste trabalho é a análise da dinâmica do desmatamento em um município distante das pressões antrópicas presentes em parte das regiões amazônicas, como a região do Baixo Acre, onde se localiza Rio Branco, com base nos mapeamento gerados. Assim justifica-se a escolha de Cruzeiro do Sul.

MÉTODOS e TÉCNICAS

Nesta seção a área de estudo – o município de Cruzeiro do Sul - é descrita, assim como as etapas metodológicas desenvolvidas neste trabalho.

Área de Estudo

O município de Cruzeiro do Sul, situado a noroeste do Estado, nas coordenadas centrais aproximadas de 8º 00'' S e 72º 40'' W, possui uma extensão territorial de cerca de 7.9250 km2 e população de aproximadamente 60 mil habitantes, sendo 42.5% em área rural e 57.5% em área urbana (IBGE, 2000).

A vegetação do município divide-se entre a floresta ombrófila densa e a floresta ombrófila aberta, geralmente mescladas com a presença de palmeiras e, principalmente, do bambu, que aparece em aproximadamente 30% do território do acre (ibge, 1992).

Dados de Sensoriamento Remoto

Cruzeiro do Sul é coberto por 4 cenas do satélite Landsat. Para este trabalho foram utilizadas as seguintes cenas (Tabela 1):

Tabela 1: Cenas Landsat 5/TM e Landsat/ETM+ utilizadas e respectivas datas.

órbita/ponto	1985	1988	1991	1994	1997	2000	2003
005/65	16/11/1985	01/09/1988	24/07/1991	01/08/1994	22/06/1997	15/12/2000	09/07/2003
005/66	19/08/1985	11/06/1987	09/08/1991	30/06/1994	22/06/1997	08/07/2000	23/06/2003
006/65	03/08/1985	23/08/1988	13/06/1991	23/07/1994	13/06/1997	09/09/2000	03/08/2004
006/66	19/8/1985	23/08/1988	13/06/1991	25/09/1994	31/07/1997	01/09/2000	13/07/2003

Métodos

A metodologia utilizada foi a mesma do PRODES digital que, desde 2000, realiza o mapeamento do desmatamento da Amazônia em dados a partir de 1997. Para este trabalho, entretanto, foram introduzidas algumas variações nos critérios de edição das imagens classificadas e nos programas usados para a padronização e geração dos mapas de desmatamento finais. Estes programas foram escritos na linguagem LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico, disponível no SPRING, o sistema de processamento de imagens e de informações geográficas usado no PRODES digital (Motta et al. 2004). Detalhes dos métodos utilizados no PRODES digital podem ser encontrados em Shimabukuro et al. (2000).

Preparação dos Bancos de Dados

As imagens foram geo-referenciadas utilizando imagens previamente registradas às cartas topográficas como referência. Posterior ao registro, foi feita a importação das imagens para a estrutura dos bancos de dados criados no SPRING. As bandas espectrais utilizadas foram TM ou ETM+ 3, 4 e 5, correspondentes às faixas espectrais do visível (região do vermelho), infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente.

Foi criado um projeto para cada cena Landsat que cobre o município de Cruzeiro do Sul e posteriormente um mosaico de cenas para cada ano de estudo: 1985, 1988, 1991, 1994, 1997, 2000 e 2003. Para a realização dos mosaicos, cada cena foi recortada com base em arquivo vetorial (células) com o limite municipal, fornecido pelo IBGE (2001). O mosaico das células, além dos limites do IBGE, também contou com os limites superiores, inferiores e laterais de cada cena, estabelecidos em função das células utilizadas no PRODES e feitas com base na posição média das cenas Landsat (Figura 1).

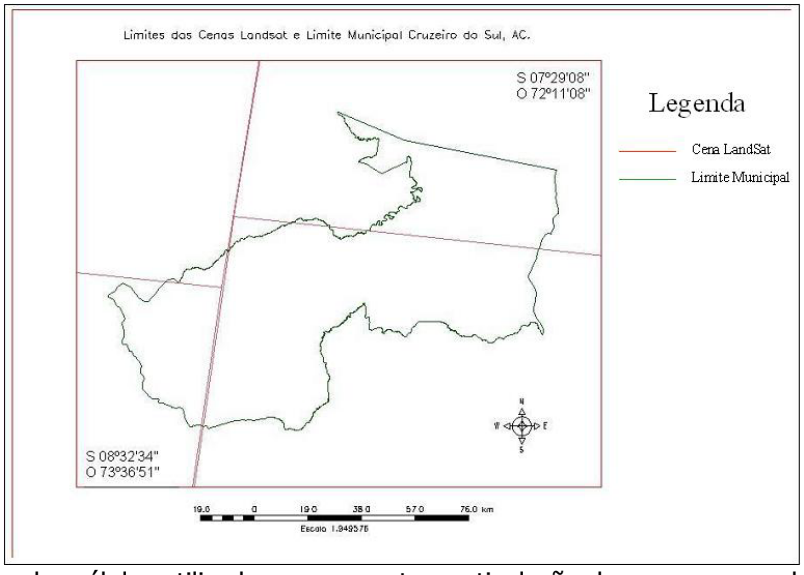

Figura 1: Mosaico das células utilizadas para recorte e articulação das cenas que cobrem o estado do Acre. O município de Cruzeiro do Sul é coberto pelas cenas 0665, 0666, 0565 e 0566, no extremo oeste do estado.

Modelo Linear de Mistura Espectral

O PRODES digital utiliza o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para estimar a proporção dos componentes vegetação, solo e sombra para cada pixel das cenas, com base na resposta espectral das bandas Landsat/TM ou ETM+ 3, 4 e 5. O modelo de mistura espectral pode ser escrito como:

ri = a * vegei + b * soloi + c * sombrai + ei,

Onde ri é a resposta do pixel na banda i; a, b e c são proporções de vegetação, solo e sombra que compõem o pixel; vegei, soloi e sombrai correspondem às respostas espectrais de cada uma das componentes citadas e ei é o erro intrínseco das estimativas para cada banda i.

As informações provenientes das bandas Landsat/TM ou ETM+ 3, 4 e 5 formam um sistema de equações lineares que pode ser resolvido utilizando o método dos Mínimos Quadrados Ponderados. Três novas bandas são resultantes do MLME, representando as proporções de vegetação, de solo e de sombra existente em cada pixel da imagem e chamadas imagens-fração (Shimabukuro et al. 2000).

O forte contraste entre áreas florestadas e desflorestadas nas imagens-fração solo e sombra auxilia enormemente o processo de identificação das áreas desflorestadas ou cobertura florestal alterada (Shimabukuro et al. 1998). Um exemplo é a melhor caracterização do desmatamento em imagem-fração sombra, visto que a superfície do dossel de floresta densa apresenta muitas sombras, contrastando com a baixa quantidade de sombras das áreas de solo descoberto ou áreas com floresta em regeneração. Ao final dessa fase, as imagens-fração geradas pelo MLME são reamostradas para a resolução de 60 metros.

Segmentação e Classificação das Imagens Frações- Solo e Sombra

A segmentação de imagem é uma técnica não-supervisionada que precede a classificação e destina-se ao agrupamento de pixels em regiões com características espectrais semelhantes. A segmentação exige a definição de dois limiares: a) o limiar de similaridade, valor mínimo estabelecido pelo intérprete, abaixo do qual duas regiões são consideradas espectralmente similares e agrupadas em uma única região; b) o limiar de área, valor mínimo de pixels para que uma região seja individualizada. No presente trabalho, as imagens fração-sombra ou fração-solo foram segmentadas pelo método de crescimento de

regiões, utilizando os limiares de similaridade 8 e de área 16, estabelecidos no PRODES (Shimabukuro et al. 2000).

Após a segmentação das imagens-fração sombra e solo, a classificação é realizada, ainda de forma não-supervisionada através do algoritmo ISOSEG. Este algoritmo compara os atributos estatísticos das regiões encontradas na segmentação dentro de certos limiares de aceitação pré-determinados que podem variar de 90% a 95%. As classes resultantes são então associadas às classes de interesse definidas no banco de dados, geralmente, desmatamento, floresta e nuvens, no processo denominado mapeamento de classes.

Edição Matricial das Classificações

Após a classificação e mapeamento de classes é realizada a edição matricial das classificações geradas. Na edição é feita a verificação das classificações por parte do intérprete, com a correção de áreas erroneamente classificadas e a inclusão de áreas eventualmente não classificadas.

Os critérios utilizados para a definição de áreas desmatadas ou de floresta alterada foram: (i) cor, (ii) textura, (iii) limites definidos por linhas retas, (iv) contexto ou proximidade a áreas de solo descoberto e/ou de cobertura florestal alterada, (v) ser região individualizada na segmentação das imagens-fração solo e/ou sombra.

Uma vez realizada a edição, cada classificação é ordenada num banco específico e o mosaico do município de Cruzeiro do Sul para cada data de estudo é realizado.

Análise Temporal Das Classificações

Por meio da análise temporal das classificações do período entre 1985 e 2003 foi possível detectar a dinâmica da cobertura da terra no município de cruzeiro do sul. Utilizando a ferramenta medida de classes do SPRING, foram geradas tabelas com as áreas das classes estudadas: desmatamento, floresta, nuvem e hidrografia, para cada ano, em quilômetros quadrados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a classificação e edição dos mosaicos, foram gerados mapas (Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8) e foi possível a comparação entre as áreas que as classes ocupavam nas diferentes datas de estudo. A Tabela 2 mostra a área de ocupação das diferentes classes nos períodos estudados. É importante ressaltar que os dados de desmatamento referem-se ao desmatamento acumulado entre as datas estudadas. Em 2003, por exemplo, foi observada uma área desmatada de aproximadamente 465 km^2 (5,62% da área total do município), referente à soma do desmatamento observado nos anos anteriores. Também vale lembrar a presença de nuvens em algumas datas, que poderia estar encobrindo as classes de estudo. As áreas das classes na Tabela 2 devem ser consideradas como aproximadas. A Tabela 3 mostra a porcentagem de cada classe em relação à área total do município.

As diferenças em área na classe de hidrografia devem-se às diferenças sazonais nos níveis dos rios do município, ocasionando a maior ou menor presença desta classe nas classificações realizadas. Explica-se também que o aumento da hidrografia deve-se ao fato de que a mesma é mapeada automaticamente. Assim, nos primeiros anos de dados processados ocorreu um aumento da precisão dos processamentos – entenda-se *segmentação* – na "retirada" da hidrografia, nas imagens Landsat.

Os resultados das Tabela 2 e 3 mostram que o desmatamento é uma prática constante no município, já que faz parte do processo de ocupação, com variações, entretanto, na intensidade com que ocorre. Entre os anos de 1985 e 1988 observou-se o menor incremento no desmatamento, apenas 0,02% em relação à área total do município. Já entre 1988 e 1991, o incremento das áreas desmatadas do município, em relação à área total,

chegou a 0,84%. O período entre 1991 e 1994 apresentou 0,36% de incremento no desmatamento; 1994 a 1997 um pouco mais, com 0,64%. Com números muito próximos, o período entre 1997 e 2000 apresentou 0,67% de incremento no desmatamento em relação ao período anterior, e, por fim, o período de 2000 a 2003 registrou o segundo maior incremento em desmatamento, 0,78%.

Tabela 2: Medidas das Classes Mapeadas, em km^2.

data/classe(%)	floresta	desmatamento	nuvem	hidrografia
1985	7.995	191	80	2
1988	6.917	193	1.155	3
1991	7.778	262	212	16
1994	7.959	292	1	16
1997	7.907	345	0.000000	16
2000	5.095	400	2.757	16
2003	4.664	465	3.123	16

Tabela 3: Medidas das Classes Mapeadas, em porcentagem.

data/classe(%)	floresta	desmatamento	nuvem	hidrografia
1985	96,70	2,31	0,97	0,02
1988	83,66	2,33	13,97	0,04
1991	94,07	3,17	2,56	0,19
1994	96,26	3,53	0,01	0,19
1997	95,63	4,17	0,00	0,19
2000	61,62	4,84	33,35	0,19
2003	56,41	5,62	37,77	0,19

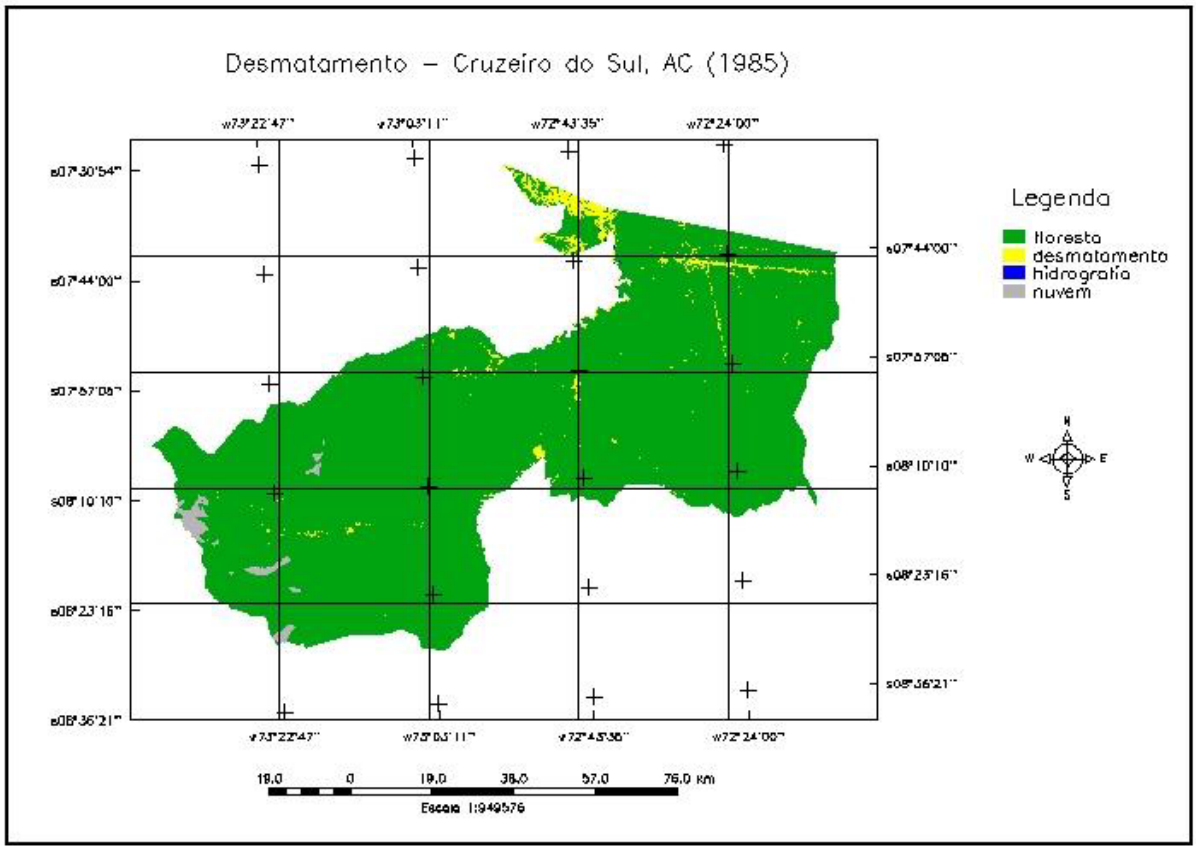

Figura 2 : Mapa do desmatamento em Cruzeiro do Sul, 1985.

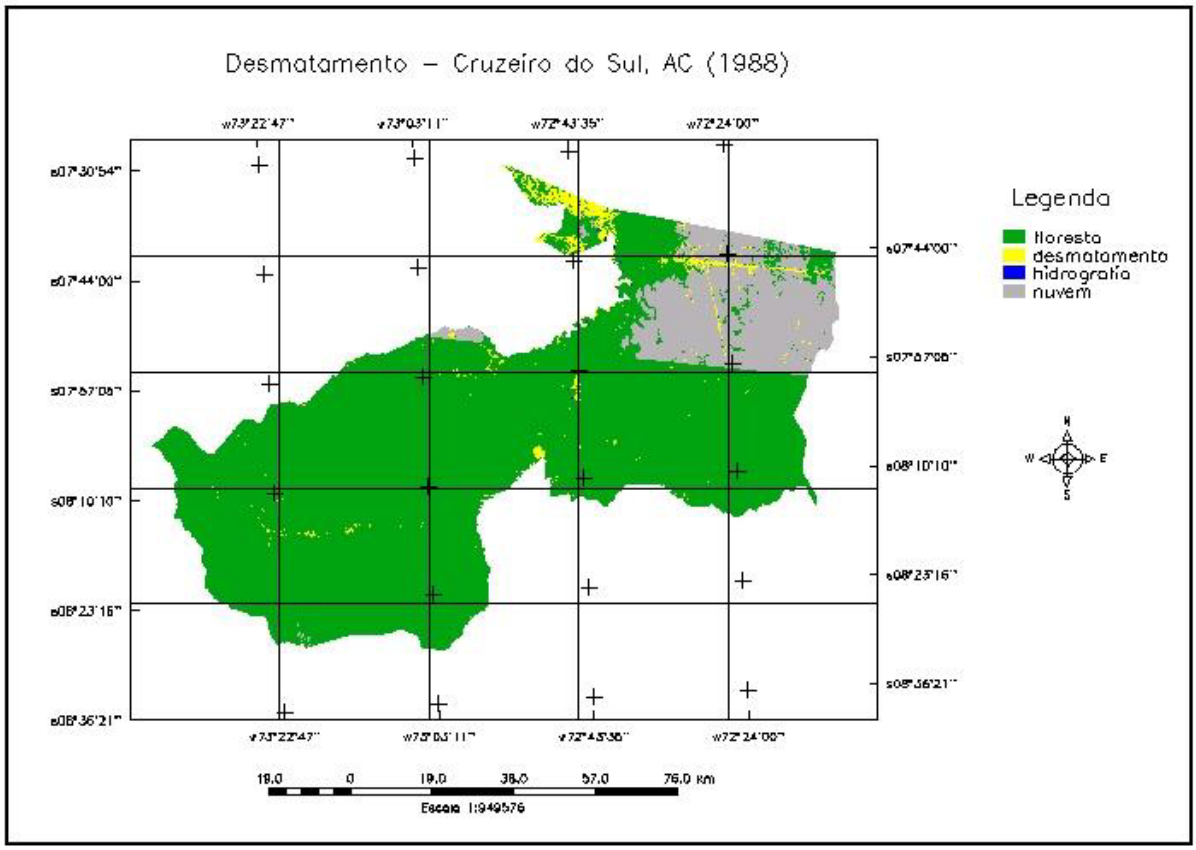

Figura 3 : Mapa do desmatamento em Cruzeiro do Sul, 1988.

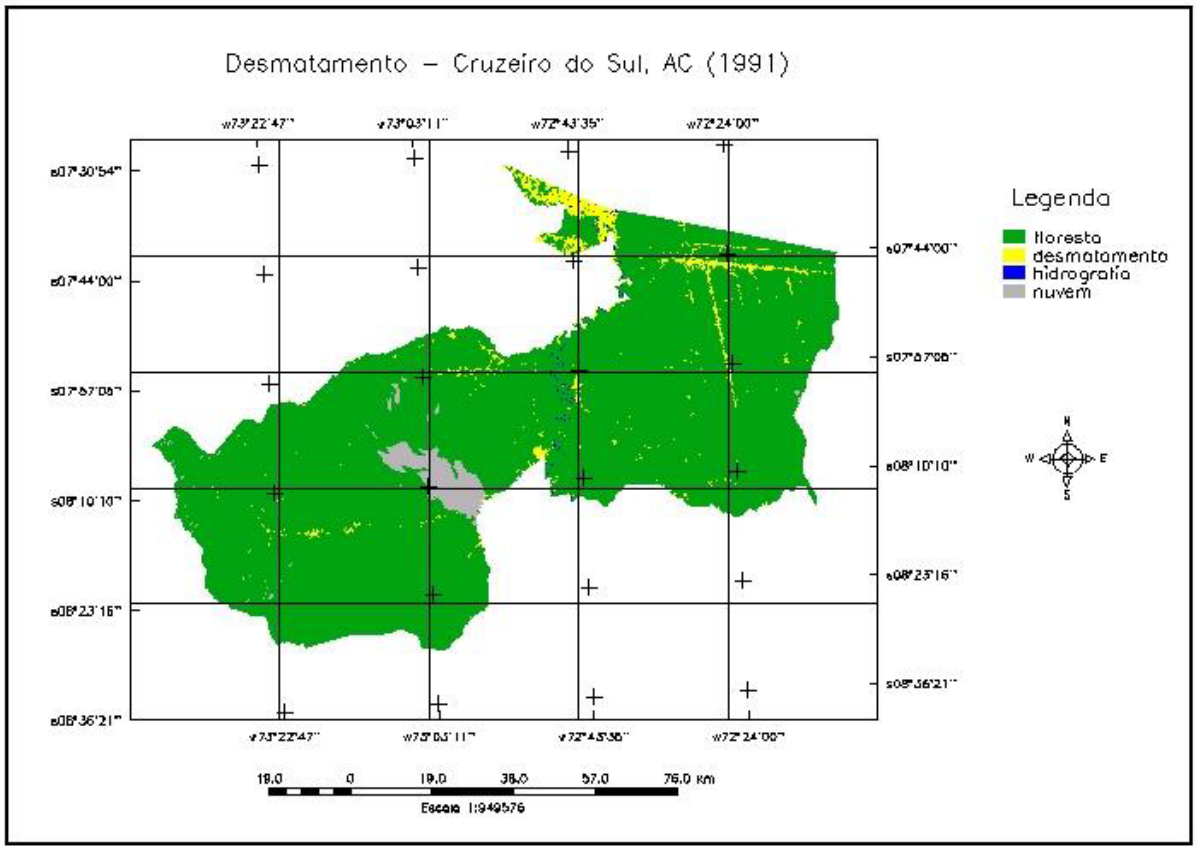

Figura 4 : Mapa do desmatamento em Cruzeiro do Sul, 1991.

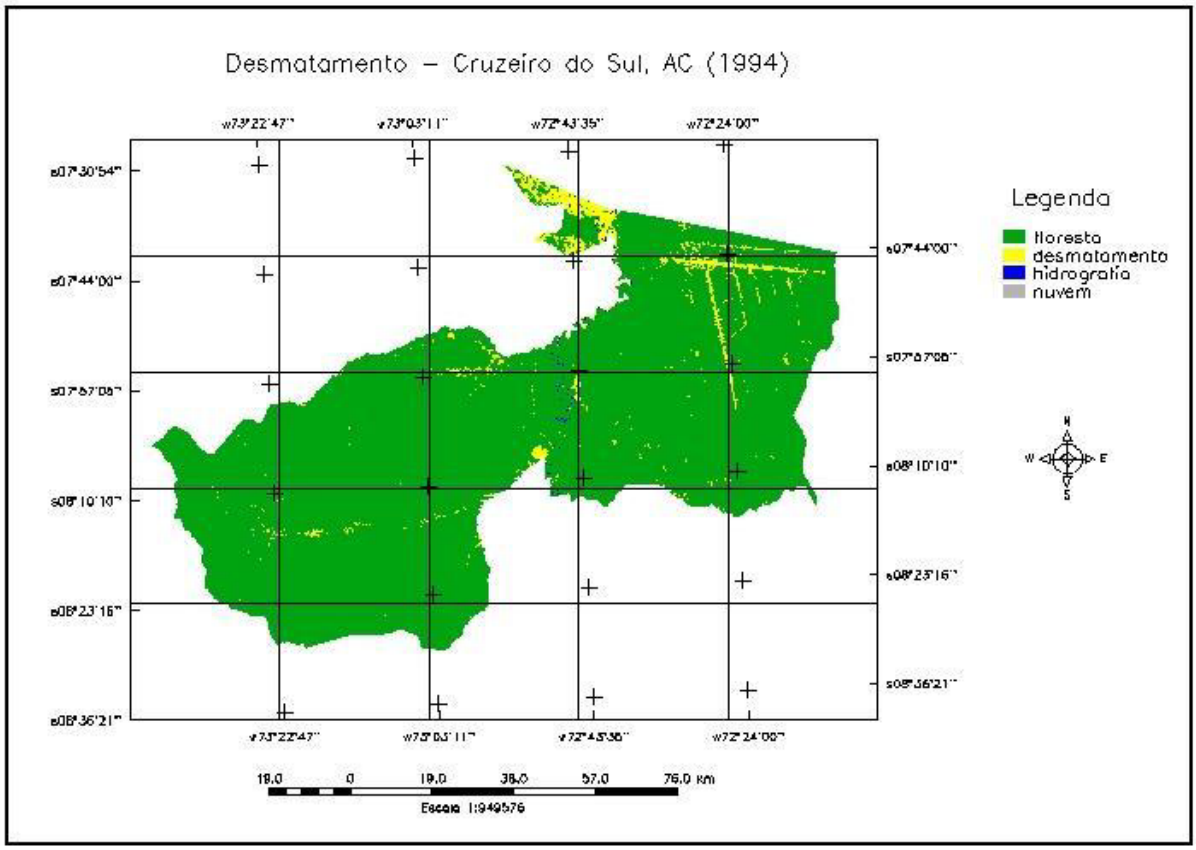

Figura 5 : Mapa do desmatamento em Cruzeiro do Sul, 1994.

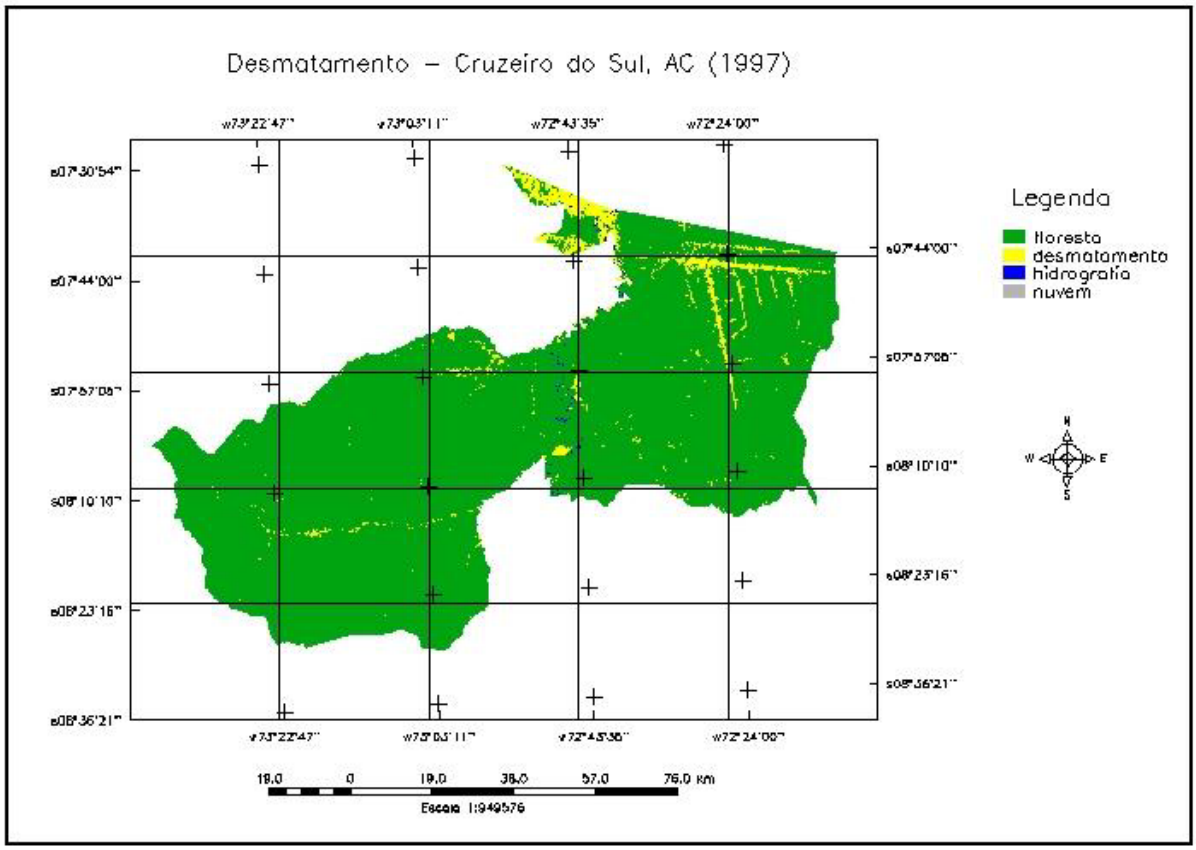

Figura 6 : Mapa do desmatamento em Cruzeiro do Sul, 1997.

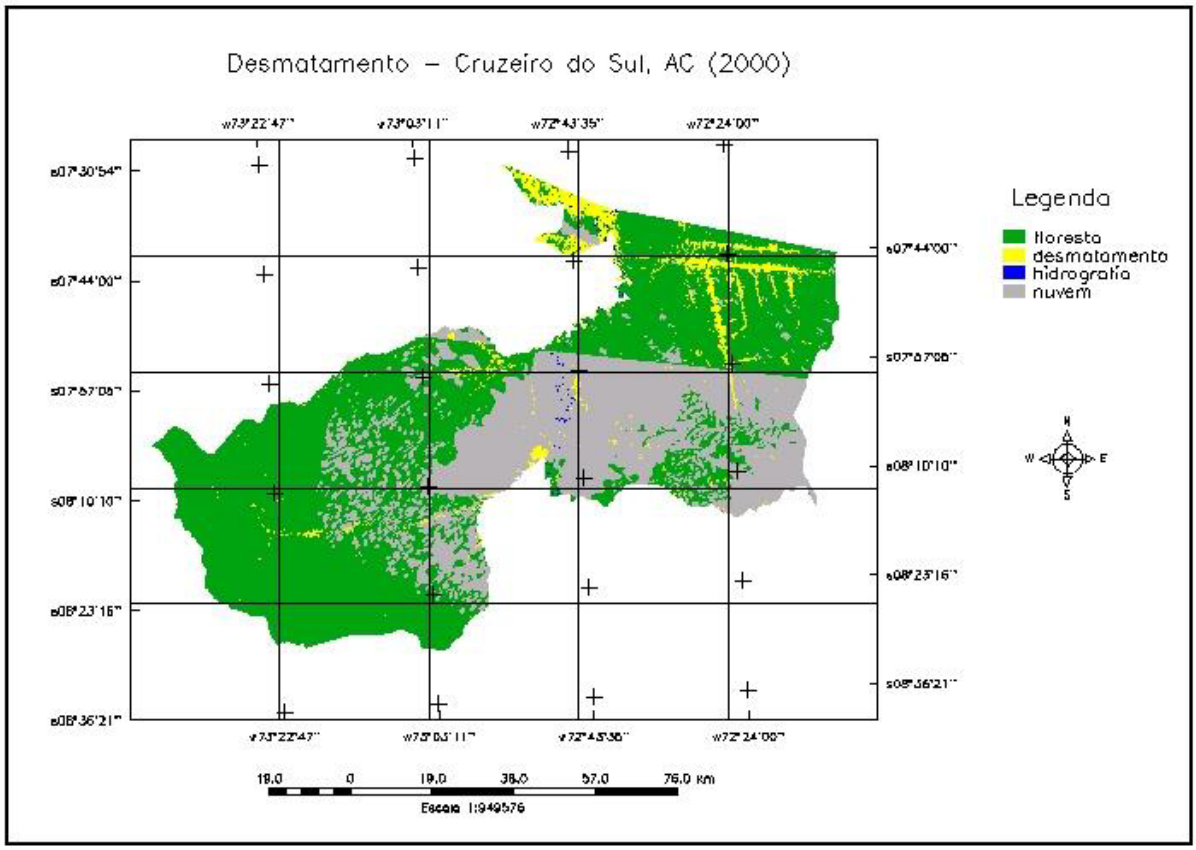

Figura 7 : Mapa do desmatamento em Cruzeiro do Sul, 2000.

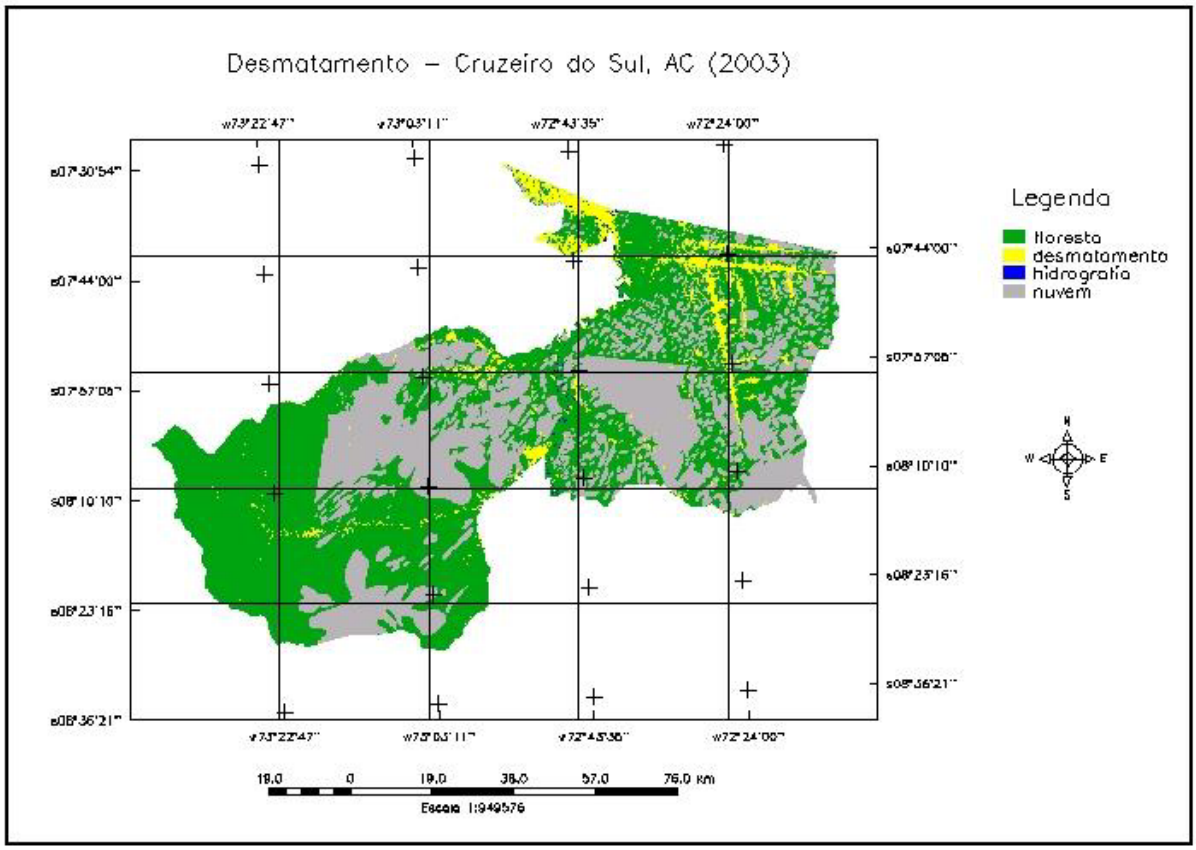

Figura 8 : Mapa do desmatamento em Cruzeiro do Sul, 2003.

CONCLUSÕES

A metodologia utilizada permitiu o mapeamento e a análise da dinâmica do desmatamento no município de Cruzeiro do Sul no período de 1985 a 2003. Os métodos consolidados pelo PRODES digital mostram que a análise digital baseada na segmentação por crescimento de regiões e classificação das imagens fração-sombra e solo torna possível o mapeamento de áreas desmatadas em séries temporais de imagens Landsat/TM e ETM+.

Analisando os dados gerados foi possível determinar os períodos de maior incremento no desmatamento em Cruzeiro do Sul, que se deram entre os anos de 1988 a 1991 e de 2000 a 2003. Respectivamente, observou-se um incremento de 69 Km^2 e 65 Km^2 de área desmatada. Já os menores incrementos ocorreram entre 1985 e 1988, e 1991 e 1994, com, respectivamente, 2 Km^2 e 30 Km^2 de área desmatada. Isto mostra que no primeiro período analisado, 1985 a 1988, praticamente não houve mudança na do uso do solo em Cruzeiro do Sul. Considerando-se o primeiro e o último período estudado, observa-se que o desmatamento aumentou em 274 Km^2, ou seja, aproximadamente 3,31% do município foi desmatado no período de 8 anos.

O mapeamento temporal do desmatamento pode indicar a magnitude, o ritmo e a direção que a ocupação da terra vem sendo feita. Além dos números apresentados, através dos mapeamentos realizados observou-se o crescimento contínuo do foco de desmatamento a leste da área urbana, ano a ano, talvez o local de maior expansão da ocupação antrópica, aumentando, conseqüentemente o incremento do desmatamento. Visualmente, também, é possível observar a consolidação de novos focos de desmatamento na região sul do município.

REFERÊNCIAS

GOVERNO DO ESTADO DO ACRE. **Zoneamento Ecológico-Econômico**. Acre: SECTMA, v. I, II e III, 2000.

IBGE. Mapa de Vegetação do Brasil, 1992. Disponível em:

http://www2.ibge.gov.br/pub/Cartas_e_Mapas/Mapas_Tematicos

IBGE. Censo 2000. Disponível em:

http://www2.ibge.gov.br/pub/Censos/

IBGE. UF Acre. Disponível em:

http://www2.ibge.gov.br/pub/Cartas_e_Mapas/

Luchiari, A. **Avaliação de dados TM Landsat para implantação de projetos de colonização de microregiào do Alto Purus – Estado do Acre**. 1986. 76 p. (INPE-3907-TDL/226). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1986.

INPE. PRODES – Projeto de Estimativa de Desmatamento da Amazônia, 2004. Disponível em:

http://www.obt.inpe.br/prodesdigital/

Motta, M.; Cordeiro, J.P.C.; Valeriano, D.M. Using LEGAL - Map Algebra - as a tool to support estimation of Amazonian Deforestation. SELPER – **Anais XI Simposio Latinoamericano sobre percepcion remota y sistemas de informacion espacial**, Santiago, 2004. CD-ROM.

Shimabukuro, Y. E., Batista, G.T., Mello, E.M.K., Moreira, J.C., Duarte, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon Region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 3, p. 535-541, 1998.

Shimabukuro, Y. E., Duarte, V., Mello, E.M.K., Moreira, J.C. **Apresentação da metodologia de criação do PRODES digital**. 2000 (INPE-7520-PUD/41). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.